

## 明 細 書

## 差圧式流量計及び差圧式流量制御装置

## 技術分野

- [0001] 本発明は、半導体製造設備や化学プラント、食品製造プラント等で使用される差圧式流量計及び差圧式流量制御装置(以下、差圧式流量計等と呼ぶ)の改良に関するものであり、所謂インライン状態で使用することができ、しかも臨界状態や非臨界状態にある流体の流量を、真空下の小流量域であっても高精度でリアルタイムに計測又は制御することが出来るようにした、安価で且つ構造の簡単な差圧式流量計等に関するものである。

## 背景技術

- [0002] 従前から、半導体製造設備や化学プラントでは、プロセスガスや原料ガス等の流量測定又は流量制御にマスフロー型流量計(熱式質量流量計)等やビルドアップ式流量計等、差圧式流量計等が多く使用されて来た。
- [0003] しかし、熱式質量流量計等には応答性が低いこと、低流量域での測定精度が低いこと、作動時のトラブルが多いこと、被制御ガスの種類に制約があること及び圧力変動の影響を受け易いこと等の多くの難点がある。

同様に、ビルドアップ式流量計等には、リアルタイムの流量測定又は流量制御が困難なこと、インライン状態で使用できないこと、被制御ガスの圧力に制約があること及び測定用に別ラインを必要とすること等の問題がある。

- [0004] これに対して、オリフィスと圧力計を用いる差圧式流量計等は、被制御ガスの種類による制約が殆どないうえ、インライン状態で使用することができ、しかもリアルタイムの流量計測又は流量制御が行えると云う優れた効用を有するものである。
- [0005] ところが、この種の差圧式流量計等は、何れも流体が非圧縮性であることを前提とするベルヌーイの定理から導出した流量演算式を基礎として用い、これに各種の補正を加えることにより流体流量を演算するものであるため、流体の圧力変化が大きい場合(即ち、流体が非圧縮性であると云う近似が崩れた場合)には、流量の測定精度や制御精度の大幅な低下が避けられず、結果として高精度な流量計測又は流量制

御が出来ないと云う難点がある。

[0006] また、上記差圧式流量計等の難点を解決するものとして、オリフィスを通過する流体を臨界条件、即ち流体流速が音速領域になるようにオリフィス上流側圧力 $P_1$ とオリフィス下流側圧力 $P_2$ を強制的に設定し、この臨界条件下で流体の流量 $Q$ を $Q=KP_1$ なる理論式で演算するようにした圧力式流量計等が開発され、公開されている(特開平10-55218号等)。

[0007] しかし、当該圧力流量計等でも、流体が小流量域(即ち、オリフィス上流側圧力 $P_1$ と下流側圧力 $P_2$ とが接近した状態)になると非臨界条件が出現することになり、結果として流量測定値 $Q$ 又は流量制御値 $Q$ に大きな誤差が含まれることになる。

[0008] 即ち、従前の差圧式流量計(又は圧力式流量計)等では、ベルヌーイの定理から流体が非圧縮性であると仮定して導出した流量演算式を用い、流体が音速に達する前の非臨界条件下(非音速領域)では、下流側流量 $Q$ を $Q_c = SC(P_2(P_1 - P_2))^{1/2} / T^{1/2}$ により求め、また音速に達した後の臨界条件下(音速領域)では、 $Q_c = SCP_1 / T^{1/2}$ により演算するようにしている。尚、 $T$ はオリフィス通過時の流体の絶対温度、 $S$ はオリフィス孔断面積、 $C$ は比例係数である。

[0009] また、流体速度が音速に達する臨界条件は、圧力比 $P_2/P_1$ の臨界値 $r_c$ で与えられ、この臨界値 $r_c$ は、ガスの比熱比 $n$ を用いて、 $P_2/P_1 = r_c = (2/(n+1))^{n/(n-1)}$ により求められている。

更に、比熱比 $n$ は $n = C_p/C_v$ で与えられ、 $C_p$ は定圧比熱、 $C_v$ は定積比熱である。2原子分子ガスでは、 $n = 7/5 = 1.4$ であり、 $r_c = 0.53$ となる。また、非直線型3原子分子ガスでは、 $n = 8/6 = 1.33$ であり、 $r_c = 0.54$ となる。

[0010] ところで、先に本願発明者等は、上記従前の差圧式流量計(又は圧力式流量計)の問題点を改良するため、非臨界条件下で使用する流体を非圧縮性として導出した従前の理論流量式 $Q$ による演算流量値と実際の流量測定値とを対比し、従前の理論流量式 $Q_c = SC/T^{1/2}(P_2(P_1 - P_2))^{1/2}$ から複数のパラメータを有する実験流量式 $Q_c' = SC/T^{1/2} \cdot P_2^m (P_1 - P_2)^n = KP_2^m (P_1 - P_2)^n$ を導出し、この実験流量式 $Q_c'$ による演算流量値が実測値と合致するように前記パラメータ $m$ 、 $n$ を決定することにより、圧縮性流体によりうまく適合できるようにした実験流量式 $Q_c'$ を提案し、特願2001-39

9433号としてこれを公開している。

尚、上記実験流量式 $Qc'$ に於いては、比例定数 $K$ は $SC/T^{1/2}$ で与えられ、ガス流の物質条件と絶対温度 $T$ から計算される。また、 $P_1$ はオリフィス上流側圧力、 $P_2$ はオリフィス下流側圧力を表し、単位はkPaA(キロパスカル絶対圧)である。更に、計測流量範囲が10～30sccm(標準状態におけるcc/min単位の流量)の領域に於いては、前記パラメータ $m$ 、 $n$ が $m=0.47152$ 、 $n=0.59492$ の値になることを見出している。

- [0011] 前記二つのパラメータ $m$ 、 $n$ の値は、計測すべき流量範囲、ガス種に依存するものであり、前記した $m=0.47152$ 及び $n=0.59492$ の値は、流量が10～30sccmの領域において成立する値であるが、流量範囲が10～100sccmや100～1000sccmになると、 $m$ と $n$ の値はこれらの値からずれてくる。
- [0012] 図14は、上記実験流量式 $Qc'$ を用いた改良型圧力式流量制御装置の構成図であり、本願発明者等が特願2001-399433号として先に公開しているものである。尚、当該図14の装置は流量制御装置として構成されているが、コントロール弁21やバルブ駆動部22、流量比較部23eを省略すれば、差圧式流量計となることは容易に理解できることである。
- [0013] 図14に於いて、20はオリフィス、21はコントロール弁、22はバルブ駆動部、23は制御回路、23aは圧力比演算部、23bは圧力比演算部、23cは流量演算部、23dは流量演算部、23eは流量比較部、 $P_1$ はオリフィス上流側流体圧力検出器、 $P_2$ はオリフィス下流側流体圧力検出器、 $T$ は流体温度検出器、 $Qs$ は流量設定値信号、 $\Delta Q$ は流量差信号、 $Qc'$ は流量演算値である。
- [0014] 当該装置では、先ず検出した上流側圧力 $P_1$ と下流側圧力 $P_2$ から圧力比 $P_2/P_1$ を算出し(23a)、流体が臨界条件にあるか非臨界条件にあるかを常時判断し(23b)、臨界条件では流量式 $Qc=KP_1$ を用い(23c)、また、非臨界条件では実験流量式 $Qc'=KP_2^m(P_1-P_2)^n$ を用いて流量演算が行われる。
- 尚、前述したように、臨界値 $rc$ は $(2/(n+1))^{n/(n-1)}$ により与えられ(但し、 $n$ はガスの比熱比である)、2原子分子ガスでは $rc=0.53$ 、非直線型3原子分子ガスでは $r_c=0.54$ であり、 $r_c$ は約0.5と表記される。

また、流量比較部23aでは、設定流量 $Q_s$ と演算流量 $Q_c$ との流量差 $\Delta Q$ が計算され、流量差 $\Delta Q$ がゼロになるようにバルブ駆動部22を動作させ、コントロールバルブ21を開閉制御するようにしているが、流量計として使用する場合には、前述の通り流量比較部23eやコントロールバルブ21、バルブ駆動部22は不要である。

- [0015] 図15の曲線Aは、前記図14の改良した圧力式流量計等による流量測定又は流量制御特性を、また、曲線Bは、従前臨界条件下で $Q_c = KP_1$ を用いる圧力式流量計等による流量測定又は流量制御特性を、夫々示すものである。図15からも明らかなように、図14の改良した圧力式流量計等では、臨界条件下では臨界条件の流量式 $Q_c = KP_1$ を用い、また非臨界条件下では非臨界条件の実験流量式 $Q_c' = KP_2^m (P_1 - P_2)^n$ を用いるから、設定流量に比例した正確な流量 $Q$ が算出でき、流量 $Q$ の設定%に対する直線性が、図15の曲線Aに示すように保持されていることになり、流量が少ない領域に於いても、比較的高精度な流量測定や流量制御を行うことが出来る。

- [0016] 特許文献1:特公昭59-19365号公報

特許文献2:特公昭59-19366号公報

特許文献3:特開平10-55218号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0017] 前記図14に示した改良型圧力式流量計等は、図15の曲線Aに示されているように最大流量の約10%位の小流量域までであれば、比較的高精度な流量測定又は流量制御を行うことが出来、優れた実用的効用を奏するものである。

しかし、流量領域が最大流量の約10%以下の小流量域になると、現実には実用的な流量測定や流量制御精度が得られないと云う問題がある。

- [0018] また、当該改良型圧力式流量計等では、オリフィス下流側の圧力 $P_2$ が約200Torr以下の真空になると、基準設定流量に対する測定誤差Error(%SP又は%FS)が比較的大きくなり、実用上様々な問題が生じると云う難点がある。

- [0019] 本発明は、先に本願発明者等が開発をした改良型圧力式流量計等に於ける上述の如き問題を解決せんとするものであり、最大流量(100%)から最大流量の約1%程度の広い流量範囲に亘って高精度な流量測定又は流量制御が出来ると共に、オ

オリフィス下流側の圧力 $P_2$ が真空であって且つこれが変動するような場合に於いても、予め実測により求めた誤差データを記憶装置に記憶しておき、この補正データを参照して流量演算値を補正することにより、高精度な流量測定又は流量制御を行うことができ、しかも構造が簡単で安価に製造できるようにした差圧式流量計等を提供するものである。

#### 課題を解決するための手段

- [0020] 請求項1の発明は、オリフィスと、オリフィス上流側の圧力 $P_1$ の検出器と、オリフィス下流側の流体圧力 $P_2$ の検出器と、オリフィス上流側の流体温度 $T$ の検出器と、前記各検出器からの検出圧力 $P_1$ 、 $P_2$ 及び検出温度 $T$ を用いてオリフィスを流通する流体流量 $Q$ を演算する制御演算回路とから成る差圧式流量計に於いて、前記流体流量 $Q$ を $Q = C_1 \cdot P_1 / \sqrt{T \cdot ((P_2 / P_1)^m - (P_2 / P_1)^n)}$  (但し $C_1$ は比例定数、 $m$ 及び $n$ は定数)により演算することを発明の基本構成とするものである。
- [0021] 請求項2の発明は、オリフィスと、オリフィス上流側の流体圧力 $P_1$ の検出器と、オリフィス下流側の流体圧力 $P_2$ の検出器と、オリフィス上流側の流体温度 $T$ の検出器と、前記各検出器からの検出圧力 $P_1$ 、 $P_2$ 及び検出温度 $T$ を用いて流体流量 $Q$ を演算する制御演算回路とから成る差圧式流量計に於いて、前記制御演算回路に、流体流量 $Q$ を $Q = C_1 \cdot P_1 / \sqrt{T \cdot ((P_2 / P_1)^m - (P_2 / P_1)^n)}$  (但し $C_1$ は比例定数、 $m$ 及び $n$ は定数)により演算する流量演算回路と、予め実測により求めたオリフィス下流側圧力 $P_2$ の変動と前記流体流量 $Q$ の流量誤差Errorとの関係を記憶した補正データ記憶回路と、前記演算した流体流量 $Q$ を補正データ記憶回路からの補正用データにより補正する流量補正演算回路とを設け、オリフィス下流側圧力 $P_2$ の変動に応じて演算した流体流量 $Q$ を補正し、補正後の流量値 $Q'$ を出力する構成としたことを発明の基本構成とするものである。
- [0022] 請求項3の発明は、請求項2の発明に於いて、制御演算回路にオリフィス上流側の流体圧力 $P_1$ とオリフィス下流側の流体圧力 $P_2$ の比を演算する圧力比演算回路と、前記演算した圧力比と流体の臨界圧力比とを対比して流体の状態を判別する臨界条件判定回路と、流体が臨界条件下にあるときには流体流量 $Q$ を $Q = KP_1$  (但し $K$ は比例定数)により演算する第2流量演算回路とを設け、流体が臨界条件下にあるときは

前記第2流体演算回路により演算した流体流量 $Q$ を、また流体が非臨界条件下にあるときには流量補正演算回路から補正した流量値 $Q'$ を、夫々出力する構成としたものである。

[0023] 請求項4の発明は、最大流量の100～10%までの流量域を測定する差圧式流量計と最大流量の10%～1%までの流量域を測定する差圧流量計とを組み合わせ、測定すべき流体を前記各流量域に応じて切換弁により前記各差圧流量計へ切換え供給することにより、広流量域によって亘って高精度な流量測定を行うことを発明の基本構成とするものである。

[0024] 請求項5の発明は、請求項4の発明に於いて、各差圧式流量計を、オリフィスと、オリフィス上流側の流体圧力 $P_1$ の検出器と、オリフィス下流側の流体圧力 $P_2$ の検出器と、オリフィス上流側の流体温度 $T$ の検出器と、前記各検出器からの検出圧力 $P_1$ 、 $P_2$ 及び検出温度 $T$ を用いて流体流量 $Q$ を演算する制御演算回路とから成る差圧式流量計とし、且つ前記流体流量 $Q$ を $Q = C_1 \cdot P_1 / \sqrt{T} \cdot ((P_2 / P_1)^m - (P_2 / P_1)^n)^{1/2}$  (但し $C_1$ は比例定数、 $m$ 及び $n$ は定数)により演算するようにしたものである。

[0025] 請求項6の発明は、請求項4の発明に於いて、各差圧式流量計を、オリフィスと、オリフィス上流側の流体圧力 $P_1$ の検出器と、オリフィス下流側の流体圧力 $P_2$ の検出器と、オリフィス上流側の流体温度 $T$ の検出器と、前記各検出器からの検出圧力 $P_1$ 、 $P_2$ 及び検出温度 $T$ を用いて流体流量 $Q$ を演算する制御演算回路とから成る差圧式流量計であって、且つ前記制御演算回路に、流体流量 $Q$ を $Q = C_1 \cdot P_1 / \sqrt{T} \cdot ((P_2 / P_1)^m - (P_2 / P_1)^n)^{1/2}$  (但し $C_1$ は比例定数、 $m$ 及び $n$ は定数)により演算する流量演算回路と、予め実測により求めたオリフィス下流側圧力 $P_2$ の変動と前記流体流量 $Q$ の流量誤差Errorとの関係を記憶した補正データ記憶回路と、前記演算した流体流量 $Q$ を補正データ記憶回路からの補正用データにより補正する流量補正演算回路とを設け、オリフィス下流側圧力 $P_2$ の変動に応じて演算した流体流量 $Q$ を補正し、補正後の流量値 $Q'$ を出力する構成としたものである。

[0026] 請求項7の発明は、流体入口aと流体出口bと第1切換弁10の取付孔17aと第2切換弁11の取付孔17bとオリフィス上流側の流体圧力検出器2の取付孔18aとオリフィス下流側の流体圧力検出器3の取付孔18bとオリフィス上流側の流体温度検出器4

の取付孔を夫々設けたバルブボディ12と、前記バルブボディ12の内部に穿設した流体入口aと第1切換弁10の取付孔17aの底面とオリフィス上流側の流体圧力検出器2の取付孔18aと第2切換弁11の取付孔17bの底面とを直通する流体通路16a、16b、16eと、第1切換弁取付孔17aの底面と第2切換弁11の取付孔17bの底面とを連通する流体通路16fと、第2切換弁11の取付孔17bの底面とオリフィス下流側の流体圧力検出器3の取付孔18bの底面とを連通する流体通路16cと、オリフィス下流側の流体圧力検出器3の取付孔18bの底面と流体出口bとを連通する流体通路16dと、前記各取付孔18a、18bへ固着したオリフィス上流側の流体圧力検出器2及びオリフィス下流側の流体圧力検出器3と、オリフィス上流側の流体温度検出器4と、前記流体通路16eと流体通路16f間を開閉する第1切換弁10と、前記流体通路16bと流体通路16c間を開閉する第2切換弁11と、前記流体通路16fの途中に介設した小流量用のオリフィス1'と、前記流体通路16a又は流体通路16bに介設した大流量用のオリフィス1''と、前記両圧力検出器2、3の検出圧力 $P_1$ ・ $P_2$ 及び温度検出器4の検出温度 $T$ により小流量用オリフィス1'及び大流量用オリフィス1''を流通する流体流量 $Q$ を $Q = C_1 \cdot P_1 / \sqrt{T \cdot ((P_2 / P_1)^m - (P_2 / P_1)^n)^{1/2}}$ により演算する制御演算回路とから構成され、測定すべき流量の大流量域を前記第1切換弁10を閉に第2切換弁11を開にして、また小流量域を前記第1切換弁10を開に第2切換弁11を閉にして夫々測定することを発明の基本構成とするものである。

- [0027] 請求項8の発明は、請求項7の発明に於いて、最大流量の100～10%までの流量域を、第1切換弁10を閉に第2切換弁11を開にして測定し、また最大流量の10%～1%までの流量域を第1切換弁10を開に及び第2切換弁11を閉にして測定するようにしたものである。
- [0028] 請求項9の発明は、請求項4又は請求項7の発明に於いて、第1切換弁10と第2切換弁11の何れか一方をノーマルクローズ型の弁に、他方をノーマルオープン型の弁にすると共に、両切換弁10、11の駆動用シリンダ10a、11aへ1台の制御用電磁弁Mvから作動用流体を供給する構成としたものである。
- [0029] 請求項10の発明は、請求項7又は請求項8の発明に於いて、オリフィス上流側の圧力検出器2とオリフィス下流側の圧力検出器3とオリフィス上流側の温度検出器4とを

、両差圧流量計で共用するようにしたものである。

[0030] 請求項11の発明は、バルブ駆動部を備えたコントロールバルブ部と、その下流側に設けたオリフィスと、オリフィス上流側の圧力 $P_1$ の検出器と、オリフィス下流側の流体圧力 $P_2$ の検出器と、オリフィス上流側の流体温度 $T$ の検出器と、前記各検出器からの検出圧力 $P_1$ 、 $P_2$ 及び検出温度 $T$ を用いてオリフィスを流通する流体流量 $Q$ を演算すると共に、演算流量 $Q$ と設定流量 $Q_s$ との差を演算する流量比較回路を備えた制御演算回路とからなる差圧式流量制御装置に於いて、前記流体流量 $Q$ を $Q = C_1 \cdot P_1 / \sqrt{T \cdot ((P_2 / P_1)^m - (P_2 / P_1)^n)^{1/2}}$  (但し $C_1$ は比例定数、 $m$ 及び $n$ は定数)により演算することを特徴とするものである。

[0031] 請求項12の発明は、バルブ駆動部を備えたコントロールバルブ部と、その下流側に設けたオリフィスと、オリフィス上流側の流体圧力 $P_1$ の検出器と、オリフィス下流側の流体圧力 $P_2$ の検出器と、オリフィス上流側の流体温度 $T$ の検出器と、前記各検出器からの検出圧力 $P_1$ 、 $P_2$ 及び検出温度 $T$ を用いて流体流量 $Q$ を演算すると共に、演算流量 $Q$ と設定流量 $Q_s$ との差を演算する流量比較回路を備えた制御演算回路とから成る差圧式流量制御装置に於いて、前記制御演算回路に、流体流量 $Q$ を $Q = C_1 \cdot P_1 / \sqrt{T \cdot ((P_2 / P_1)^m - (P_2 / P_1)^n)^{1/2}}$  (但し $C_1$ は比例定数、 $m$ 及び $n$ は定数)により演算する流量演算回路と、予め実測により求めたオリフィス下流側圧力 $P_2$ の変動と前記流体流量 $Q$ の流量誤差 $Error$ との関係を記憶した補正データ記憶回路と、前記演算した流体流量 $Q$ を補正データ記憶回路からの補正用データにより補正する流量補正演算回路とを設け、オリフィス下流側圧力 $P_2$ の変動に応じて演算した流体流量 $Q$ を補正し、補正後の流量値 $Q'$ を前記流量比較回路へ入力して流量差 $S = Q' - Q_s$ を演算する構成としたことを特徴とするものである。

[0032] 請求項13の発明は、請求項12の発明に於いて、制御演算回路にオリフィス上流側の流体圧力 $P_1$ とオリフィス下流側の流体圧力 $P_2$ の比を演算する圧力比演算回路と、前記演算した圧力比と流体の臨界圧力比とを対比して流体の状態を判別する臨界条件判定回路と、流体が臨界条件下にあるときには流体流量 $Q$ を $Q = KP_1$  (但し $K$ は比例定数)により演算する第2流量演算回路とを設け、流体が臨界条件下にあるときは前記第2流体演算回路により演算した流体流量 $Q$ を、また流体が非臨界条件下に

あるときには流量補正演算回路から補正した流量値 $Q'$ を、夫々前記流量比較回路へ入力する構成としたものである。

#### 発明の効果

- [0033] 本発明では、差圧式流量計等の構造そのものを大幅に簡素化すると共に、実測値に極めて高精度で合致する演算流量値を得ることが出来る新規な実験流量演算式を用いて流量演算を行う構成としているため、安価に製造でき、しかもインラインの形態で且つ取り付け姿勢に制約を受けることもなく使用でき、そのうえ圧力の変動に対しても制御流量が殆ど影響されることなしに、高精度な流量計測又は流量制御をリアルタイムで行うことが出来る。
- [0034] また、本発明に於いては、制御演算回路に圧力変動に対する補正データの記憶回路と、これによる演算流量の補正回路を設けるようにしているため、オリフィス2次側に圧力変動が生じてもその影響を簡単に補正することが出来、オリフィス2次側の圧力 $P_2$ が真空(50Torr以下の低圧)に近い状態の条件下に於いても、圧力変動に殆ど影響を受けることなしに高精度な流量計測又は流量制御が行える。
- [0035] 更に、本発明に於いては、小流量用の差圧式流量計と大流量用の差圧式流量計とを有機的に一体的に組み付けするようにしているため、両差圧流量計を切換作動させることにより、定格流量(100%)から定格流量の1%位の小流量(1%)の広い流量範囲に亘って、誤差Error(%SP)が1(%SP)以下の高精度な流量計測を連続的に行うことができる。
- [0036] 加えて、本発明に於いては、小流量用の差圧式流量計と大流量用の差圧式流量計の切換作動を一系統の制御用信号 $Sc$ でもって自動的に行なうことができ、制御系統の一層の簡素化が可能となる。
- [0037] 本発明は上述の通り、簡単な構造の安価な差圧式流量計等であるにも拘わらず、あらゆる種類のガスの流量を、100Torr以下のガス使用条件下であっても広範囲の流量域に亘って高精度で計測又は流量制御することができると云う優れた実用的効用を有するものである。

#### 図面の簡単な説明

- [0038] [図1]本発明の第1実施形態に係る差圧式流量計の基本構成図である。

[図2]図1の差圧式流量計の誤差特性を示す線図である。

[図3]オリフィス下流側圧力 $P_2$ が真空の場合に於いて、2次側管路抵抗を変化させた場合の「流量と2次側圧力と誤差」との関係を示す線図である。

[図4]図3のデータを得るために利用した測定回路を示すものである。

[図5]本発明の第2実施形態に係る差圧式流量計の基本構成図である。

[図6]本発明の第3実施形態に係る差圧式流量計の基本構成図である。

[図7]本発明の第4実施形態に係る差圧式流量計全体構成を示す系統図である。

[図8]本発明の第4実施形態に係る差圧式流量計の主要部の断面概要図である。

[図9]ノーマルオープン型とノーマルクローズ型の切換弁を用いた本発明に係る差圧式流量計の切換操作系統の説明図である。

[図10]本発明に係る差圧式流量制御装置の第1実施形態の基本構成図である。

[図11]本発明に係る差圧式流量制御装置の第2実施形態の基本構成図である。

[図12]本発明に係る差圧式流量制御装置の第3実施形態の基本構成図である。

[図13]本発明に係る差圧式流量制御装置の第4実施形態の基本構成図である。

[図14]先に公開をした改良型圧力式流量制御装置の構成図である。

[図15]先に公開をした改良型圧力式流量制御装置の流量特性を示す線図である。

## 符号の説明

- [0039] Qは実験流量演算式、Q'は補正済流量、Qsは設定流量、SFは標準流量制御器(圧力式流量制御装置)、Aは差圧式流量計、 $V_{21} \sim V_{23}$ は2次側制御弁、VPは真空排気ポンプ、aはガス入口、bはガス出口、1はオリフィス、1'は小流量用オリフィス、1''は大流量用オリフィス、2はオリフィス上流側の絶対圧式圧力検出器、3はオリフィス下流側の絶対圧式圧力検出器、4はオリフィス上流側のガス絶対温度検出器、5は制御演算回路、5aは流量演算回路、5bは補正データ記憶回路、5cは流量補正演算回路、5dは圧力比演算回路、5eは臨界条件判定回路、5fは臨界条件下の流量を演算する第2流量演算回路、5gは設定流量と演算流量の比較回路、5'は第1制御演算回路、5''は第2制御演算回路、6は流量出力端子、7は電源入力端子、8はガス供給装置、9はガス使用装置(チャンバー)、10は第1切換弁、10a駆動用シリンダ、11は第2切換弁、11a駆動用シリンダ、12はボディ、12aはガス入口部材、12bは

ガス出口部材、12cは第1ボディ部材、12dは第2ボディ部材、13a・13bはシール、14a・14bは圧力検出器の取付ボルト、15a・15bはダイヤフラム弁機構、16a～16fは通路、17aは第1切換弁の取付孔、17bは第2切換弁の取付孔、18aはオリフィス上流側圧力検出器の取付孔、18bはオリフィス下流側圧力検出器の取付孔、21はコントロールバルブ、22はバルブ駆動部、Mvは制御用電磁弁、Scは制御用信号。

### 発明を実施するための最良の形態

[0040] 以下、図面に基づいて本発明の実施形態を説明する。

図1は、本発明に係る差圧式流量計の第1実施形態の基本構成を示すものであり、当該差圧式流量計はオリフィス1、オリフィス上流側の絶対圧式圧力検出器2、オリフィス下流側の絶対圧式圧力検出器3、オリフィス上流側のガスの絶対温度検出器4、制御演算回路5、出力端子6、入力端子7、等から構成されている。尚、8はガス供給装置、9はガス使用装置(チャンバー)である。

[0041] 本発明の差圧式流量計に於いては、差圧条件下(即ち、非臨界条件下)でオリフィス1を通過するガスの流量Qが、前記制御演算回路5に於いて、下記の(1)式の実験流量式を用いて演算され、その演算値は出力端子6より外部へ出力される。 $Q = C_1 \cdot P_1 / \sqrt{T \cdot ((P_2 / P_1)^m - (P_2 / P_1)^n)^{1/2}} \cdot (1)$

尚、上記の実験流量式Qは、従前の連続方程式を基礎とする下記流量演算式(2)をベースにして本願発明者によって新規に提案されたものである。

[0042] [数1]

$$Q_c = \frac{S \cdot P_1}{\delta} \cdot \left[ \frac{2g}{RT} \cdot \frac{\kappa}{\kappa - 1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right] \right]^{\frac{1}{2}} \cdots (2)$$

[0043] 尚、(2)式に於いて、 $\delta$ はガス密度、 $\kappa$ はガスの比熱比、 $P_1$ はオリフィス上流側圧力、 $P_2$ はオリフィス下流側圧力、Tはガス温度、Rはガス定数、Sはオリフィス断面積であり、当該(2)式は公知のものである。

[0044] 本発明に係る前記(1)式に於いて、Qは標準状態に換算した体積流量(SCCM)、 $C_1$ はオリフィス1の断面積Sを含んだ係数、 $P_1$ はオリフィス上流側の絶対圧力(Pa)、 $P_2$

はオリフィス下流の絶対圧力(Pa)、Tはオリフィス上流側のガスの絶対温度(K)である。

また、m及びnは、(2)式より $N_2$ ガスの $\gamma = 1.40$ を演算して定められた定数であり、オリフィス径 $\phi$ が2.0mm $\phi$ 、最大流量が2000sccmの流量計に於いては、前記(1)式の $C_1 = 2680$ 、 $m = 1.4286$ 、 $n = 1.7143$ となる。

[0045] 尚、当該常数 $C_1$ 、m及びnが測定可能なガス種に応じて変化することは勿論であるが、 $N_2$ ガスに於いては、 $m = 1.4286$ 及び $n = 1.7143$ となることが判っている。

[0046] 図2は、図1の差圧式流量計(100%設定値2000sccm)の設定流量値(%)と圧力 $P_1$ 、 $P_2$  (Torr)と誤差Error(%SP)の関係を示す実測値であり、ガス圧力 $P_1$ 、 $P_2$ が50 Torr以下の真空であっても、設定流量が10(%) (最大流量の10%=200sccm)位までであれば、流量誤差Errorは設定流量値(%)に対して極く小さな値(1%SP以下)となる。

しかし、設定流量値が10(%)以下になると、流量誤差Errorは-1(%SP)以上となり、流量測定値の実用上に問題が生じることになる。

[0047] 図3は、本発明に係る差圧式流量計のオリフィス2次側圧力 $P_2$  (Torr)と設定流量(%)と誤差Error(%SP)と2次側配管条件の関係を示す線図であり、9aは設定流量(%)が100sccmの場合を、9bは200sccmの場合、9cは400sccmの場合、9dは600sccmの場合、9gは1200sccmの場合、9jは1800sccmの場合、9kは2000sccm(100%)の場合を夫々示すものである。尚、使用した差圧式流量計の最大流量(100%)は2000sccmである。

[0048] また、各設定流量値(%)の中で、四角印は図3の中に示すように差圧式流量計の出口側が配管路(4.35mm $\phi$ ・100mm)のままでバルブ等が介設されていない場合の誤差Error(%SP)を、菱形印は差圧式流量計の出口側にCv値が0.3の制御弁を介設したときの誤差Error(%SP)を、三角印はCv値が0.2の制御弁を介設したときの及び丸印はCv値が0.1の制御弁を介設したときの誤差Error(%SP)を夫々示すものである。

[0049] 即ち、図3からも明らかなように、使用圧力条件が真空(50Torr以下)になると、2次側(オリフィス下流側)の配管条件によって、圧力 $P_2$ と流量Qの関係が大きく変動する

ことになり、結果として誤差Error(%SP)が変化する。

- [0050] そのため、差圧式流量計の調整時に、予め2次側管路抵抗(コンダクタンス)を変化させた場合の流量誤差Error(%SP)を測定しておき(図3の場合は4条件・11点)、この誤差Errorを打消すための補正係数を予め求めておく。そして、当該補正係数によって流量演算回路5に於いて実験流量式(1)により演算した流量値 $Q$ を修正することにより、真空の条件下に於いて差圧式流量計の2次側圧力 $P_2$ が変化した場合においても、より高精度な流量演算を行うことが可能となる。
- [0051] 図4は、図3の誤差補正係数を得るための測定回路を示すものであり、標準流量制御器SFとして圧力式流量制御装置を使用すると共に、2次側配管条件を変えるために制御弁 $V_2$ を取付自在に設け、当該標準流量制御器SFによって100sccm～2000sccmの流量域の間を200sccmの間隔をもって、供給ガス流量( $N_2$ を調整(計11点)し、その都度差圧式流量計Aの $P_1$ 、 $P_2$ 、 $Q$ 及びその時のオリフィス下流側の圧力 $P_2$ を測定した。
- [0052] 尚、2次側管路抵抗は、制御弁 $V_2$ が無い場合(差圧式流量計Aを直接に真空ポンプへ内径4.35mmφの管路(長さ約100mm)で接続したとき)、制御弁 $V_2$ をCv値が0.3のものとしたとき、Cv値を0.2のものとしたとき、Cv値を0.1のものとしたときの4種のケースにより調整した。
- [0053] また、測定流量は、前述の通り100sccm～2000sccmの間で合計11点を設定した。
- 更に誤差Error(%SP)は(SFの流量値－Aの流量値)／SFの流量値・100%により算出した。
- [0054] 尚、圧力式流量制御装置への供給圧力 $P_1$ は約300kPaG、差圧式流量計Aのオリフィス2次側は真空排気ポンプ $V_p$ (300l/min、最高到達圧力 $1.2 \cdot 10^{-2}$ Torr)により連続的に真空引きした。
- [0055] 例えば、先ず、2次側配管路から制御弁 $V_2$ を取り外して内径 $\phi = 4.35\text{mm}$ ・ $L = 100\text{mm}$ の直線状のステンレス鋼管のみで2次側管路を形成し、圧力式流量制御装置SFにより供給流量を1000sccmとしたとき、差圧式流量計Aの測定値は約1000sccmで誤差Eは零となり、その時の2次側圧力 $P_2$ は約18Torrであった。同様にSFから

の供給流量を2000sccmとすると、差圧式流量計Aの読みは1920sccm(誤差Eは-4%SP)となり、その時の2次側圧力 $P_2$ は約29Torrとなった。

[0056] 同様にして2次側管路の条件を変えると、SFからの供給流量が2000sccm(100%)の条件下でも $C_v=0.3$ の時には誤差 $E=-1\%SP$ 及び $P_2=34.5Torr$ となり、 $C_v=0.2$ の時には誤差 $E=-0.05\%SP$ 及び $P_2=40.5Torr$ となる。また $C_v=0.1$ の時には誤差 $E=+2\%SP$ 及び $P_2=59.5Torr$ となった。

[0057] 上記図3の結果を整理することにより、各設定流量値(%SP)に対して、下表のようなオリフィス下流側圧力 $P_2$ の変動と発生誤差Error(%SP)との関連を示すテーブルを得ることが出来る。

[0058] [表1]

設定流量 %	設定値 sccm	オリフィス下流側管路条件 (圧力条件)	
		オリフィス下流側圧力 $P_2$ (T o r r)	誤差 E (% S P)
100	2000	29	-4
		34.5	-1
		40.5	-0.05
		59.5	+2
50	1000	18.2	0
		20.1	+1.9
		22.5	+2.1
		32.0	+3.1

[0059] 即ち、約100Torr以下の真空状態で使用する差圧式流量計に於いて、オリフィス2次側圧力 $P_2$ が何らかの事情で変動した際には、上記表1の補正データを用いて、差圧式流量計の現実の測定値を修正する。

[0060] 例えば、2000sccm(100%)で使用中の差圧式流量計が、測定値として2000sccmを表示しており且つその時のオリフィス下流側の圧力 $P_2$ が60Torrであれば、測定値(2000sccm)には+2%の誤差Error(%SP)を含んでいることになるので、+2%分の修正を施して2000sccmの測定値を1960sccmに補正する。

[0061] 図5は、上記補正手段を採用した本発明の基本構成を示すものであり、第1実施形態を示す図1の差圧式流量計の制御演算回路5に補正データの記憶回路5bと流量値の補正演算回路5cとを設けたものである。

- [0062] 即ち、前記流量演算回路5aで流量実験式 $Q$ を用いて演算した流量値 $Q$ に、その時のオリフィス下流側圧力 $P_2$ を参照して補正データ記憶回路5bから圧力 $P_2$ に於ける誤差 $Error(\%SP)$ を引出し、当該誤差 $Error(\%SP)$ 分を前記流量演算値 $Q$ から除く補正をし、補正演算回路5cで補正後の直値に近い流量値 $Q'$ を出力端子6より外部へ出力する。
- [0063] 図6は本発明の第3実施形態を示すものであり、図5の差圧式流量計に於いて、臨界条件下にあるときは $Q=K P_1$ の流量式でもって流量の演算を行い、また非臨界条件下にあるときには、図5の制御演算回路5でもって流量演算を行うようにしたものである。
- [0064] 即ち、図6に示すように、第3実施形態の差圧式流量計に於いては、図5の制御演算回路5に、圧力比演算回路5dと臨界条件判定回路5eと臨界条件下の流量演算回路5fとが追加されており、先ず、オリフィス上流側圧力 $P_1$ と下流側圧力 $P_2$ の比(縋)を求め、圧力比縋と臨界圧力比縋 $c$ の大小を比較し、臨界条件下にあるときには $Q=K P_1$ により流量演算を行って演算値を出力する。
- [0065] また、非臨界条件下にあるときには、流量式 $Q=C_1 \cdot P_1 / \sqrt{T \cdot ((P_2/P_1)^m - (P_2/P_1)^n)}^{1/2}$ により流量を演算し、流量補正演算回路5cで演算値 $Q$ を補正したあと、出力端子6より補正後の流量値 $Q'$ を出力するものである。
- [0066] 一方、前記第1乃至第3実施形態に於いては、実験流量演算式 $Q$ を用いたり、或いは流量演算値 $Q$ の補正 $Q'$ を行っても、流量測定値の誤差 $Error$ を実用に耐え得る範囲内(例えば1(%SP)以下)に抑えることが出来るのは、流量範囲が100~10(%)までであり、流量が10(%)以下になると、補正を施しても誤差 $Error$ を1(%SP)以下に保持することが困難である。
- [0067] そこで、本願発明の第4実施形態に於いては、流量範囲の異なる2組の前記第1乃至第3実施形態に係る差圧式流量計を組み合わせ、上記2組の差圧式流量計を切換作動させることにより、全体として流量が100(%)~1(%)の広い流量範囲に亘って、常に誤差 $Error$ を1(%SP)以下の高精度な流量測定を行える構成としている。
- [0068] 図7は、第4実施形態に係る差圧式流量計の全体構成図を示すものであり、図7に於いて10は第1切換弁(NC型)、11は第2切換弁(NC型)、aはガス入口側、bはガ

ス出口側、1'は第1オリフィス(小流量用)、1''は第2オリフィス(大流量側)、5'は第1制御演算回路、5''は第2制御演算回路である。

[0069] 即ち、第1オリフィス1'、第1制御演算回路5'等によって小流量側の差圧式流量計(例えば10～100sccmの流量範囲)が、また第2オリフィス1''及び第2制御演算回路5''等によって大流量側の差圧式流量制御装置(例えば100～1000sccmの流量範囲)が夫々構成されており、両差圧式流量制御装置によって流量範囲1000sccm(100%)～10sccm(1%)の広範囲に亘って誤差Errorが1(%SP)以下の高精度でもって流量計測が行える構成となっている。

[0070] 図8は、本発明の第4実施形態に係る差圧式流量計の主要部の断面概要図であり、両差圧式流量計を形成する第1及び第2制御演算回路5'、5''等は省略されている。

図8に於いて、12はボディ、13a、13bはシール、14aはオリフィス上流側絶対式圧力検出器2の取付用ボルト、14bはオリフィス下流側絶対式圧力検出器3の取付用ボルト、15a、15bはダイヤフラム弁機構、10a、11a駆動用シリンダである。

[0071] ボディ12はガス入口部材12a、ガス出口部材12b、第1ボディ部材12c及び第2ボディ部材12dを気密状に組付けすることにより形成されており、ステンレス鋼により製作されている。

[0072] また、ブロック状の第1ボディ部材12c及び第2ボディ部材12dの上面側には、第1切換弁10及び第2切換弁11の取付孔17a、17bが、更に、その下面側にはオリフィス上流側圧力検出器2及びオリフィス下流側圧力検出器3の取付孔18a、18bが夫々穿設されている。

尚、図8には、図示されていないが、第1ボディ部材12cにはオリフィス上流側のガス温度検出器4の取付孔が形成されている。

[0073] また、各ボディ部材12c、12d等には、流体入口aと第1切換弁10の取付孔17aの底面とオリフィス上流側圧力検出器2の取付孔18aの底面と第2切換弁11の取付孔17bの底面とを夫々連通する流体通路16a、16b、16eと、取付孔17aと取付孔17bの各底面間を連通する流体通路16fと、取付孔17bの底面と取付孔18bの底面とを連通する流体通路16cと取付孔18bの底面と流体出口bとを連通する流体通路16d

とが、夫々穿設されている。

- [0074] 更に、流体通路16には小流量用のオリフィス1'が、また流体通路16a(又は16b)には、大流量用のオリフィス1''が夫々介設されており、図8の実施形態では両ボディ部材12c、12dの接合面に各オリフィス1'、1''が配置されている。
- [0075] 前記各取付孔17a、17bの底面に形成された流体通路16e、16bに連通する弁座は、第1切換弁10及び第2切換弁11の弁機構15a、15bにより開閉され、各弁座が開閉されることにより、通路16eと通路16fとの間及び通路16cと通路16bとの間が開閉される。
- 尚、通路16cは両取付孔17b、18b間を常時連通するようになっている。
- [0076] 図7及び図8を参照して、先ず測定流量が大流量域の場合には、第1切換弁10を閉、第2切換弁11を開にし、ガス入口aから流入したガスを通路16a、オリフィス1''、通路16b、通路16c、通路16dを通してガス出口bより流出させる。そして、第2制御演算回路5''(図示省略)により流量演算を行い、必要箇所へ出力する。
- [0077] また、測定流量域が減少して定格流量の10%以下になれば、第1切換弁10を開にすると共に第2切換弁11を閉にする。これにより、ガスの流れは通路16a、通路16e、小流量用オリフィス1'、通路16f、通路16c、通路16dを通してガス出口bより流出する。その間に第1制御演算回路5'により流量演算が行われ、必要箇所へ出力されることは大流量域の計測の場合と同じである。
- [0078] 尚、ボディ12の材質、ガス通路内面の処理加工、ダイヤフラム弁機構15a、15b、圧力検出2、3及び温度検出器等は公知であるため、ここではその説明を省略する。
- [0079] また、前記図7及び図8の第4実施形態に於いては、第1切換弁10及び第2切換弁11を夫々ノーマルクローズ型の弁とし、各切換弁10、11の駆動用シリンダ10a、11aへ夫々独立した制御用電磁弁を介して作動用流体を供給する構成としているが、第1切換弁10と第2切換弁11の一方をノーマルクローズ型の弁に、他方をノーマルオープン型の弁として、1台の制御用電磁弁から作動用流体を両切換弁10、11へ供給するようにしてもよい。
- [0080] 即ち、両切換弁10、11の一方をNO型に、他方をNC型とした場合には、図9の制御系統図に示すように、1台の制御用電磁弁Mvでもって両切換弁10、11の切換操

作を行うことができ、制御用信号 $Sc$ も1系統にすることができる。

- [0081] 図10は本発明に係る差圧式流量制御装置の第1実施形態を示すものであり、前記図1に示した差圧式流量計にコントロールバルブ21及びバルブ駆動部22を設けると共に、制御演算回路5に流量比較回路5gを設け、ここで外部から入力した設定流量 $Q_s$ と流量演算回路5aで演算した演算流量 $Q$ との流量差 $\Delta Q$ を演算して、当該流量差 $\Delta Q$ をバルブ駆動部22へその制御信号として入力する。これにより、コントロールバルブ21は前記流量差 $\Delta Q$ が零になる方向に作動され、オリフィス1を流通するガス流量 $Q$ が設定流量 $Q_s$ に制御されることになる。
- [0082] 図11は差圧式流量制御装置の第2実施形態を示すものであり、前記図5に示した差圧式流量計にコントロールバルブ21及びバルブ駆動部22を設けると共に、制御演算回路5に流量比較回路5gを設けたものである。
- [0083] 尚、流量比較回路5gでは、補正演算回路5cで演算流量 $Q$ に誤差補正をした補正後の流量 $Q'$ を用いて流量差 $\Delta Q$ が演算され、当該流量差 $\Delta Q$ が零となる方向にコントロールバルブ21が開閉制御される。
- [0084] 図12は差圧式流量制御装置の第3実施形態を示すものであり、前記図6に示した差圧式流量計にコントロールバルブ21及びバルブ駆動部22を設けると共に、制御演算回路5から補正データ記憶回路5b及び補正演算回路5cを除き、これに代えて流量比較回路5gを設ける構成としたものである。
- [0085] 即ち、ガス流が臨界条件下にある時には、第2流量演算回路5fからの演算流量 $Q$ を用いて、また、ガス流が非臨界条件下にある時には、流量演算回路5aからの演算流量 $Q$ を用いて、夫々流量差 $\Delta Q$ が演算され、当該流量差 $\Delta Q$ を零にする方向にコントロールバルブ21が開閉制御される。
- [0086] 図13は差圧式流量制御装置の第4実施形態を示すものであり、前記図6に示した差圧式流量計にコントロールバルブ21及びバルブ駆動部22を設けると共に、制御演算回路5に流量比較回路5gを設ける構成としたものである。
- [0087] 即ち、ガス流が臨界条件下にある時には、第2流量演算回路5fからの演算流量 $Q$ を用いて、また、ガス流が非臨界条件下にある時には、流量演算回路5aからの演算流量 $Q$ に補正を加えた補正演算回路5cからの流量 $Q'$ を用いて、夫々流量差 $\Delta Q$ が

演算され、当該流量差 $\Delta Q$ を零にする方向にコントロールバルブ21の開閉制御が行なわれる。

#### 産業上の利用可能性

- [0088] 本発明は、主として半導体製造装置や化学プラント、食品製造プラント等で使用されるものであるが、ガスや液体等の流体を取り扱う分野に於いて、広く利用に供されるものである。

## 請求の範囲

- [1] オリフィスと、オリフィス上流側の圧力 $P_1$ の検出器と、オリフィス下流側の流体圧力 $P_2$ の検出器と、オリフィス上流側の流体温度 $T$ の検出器と、前記各検出器からの検出圧力 $P_1$ 、 $P_2$ 及び検出温度 $T$ を用いてオリフィスを流通する流体流量 $Q$ を演算する制御演算回路とからなる差圧式流量計に於いて、前記流体流量 $Q$ を $Q = C_1 \cdot P_1 / \sqrt{T \cdot ((P_2 / P_1)^m - (P_2 / P_1)^n)^{1/2}}$  (但し $C_1$ は比例定数、 $m$ 及び $n$ は定数)により演算することを特徴とする差圧式流量計。
- [2] オリフィスと、オリフィス上流側の流体圧力 $P_1$ の検出器と、オリフィス下流側の流体圧力 $P_2$ の検出器と、オリフィス上流側の流体温度 $T$ の検出器と、前記各検出器からの検出圧力 $P_1$ 、 $P_2$ 及び検出温度 $T$ を用いて流体流量 $Q$ を演算する制御演算回路とから成る差圧式流量計に於いて、前記制御演算回路に、流体流量 $Q$ を $Q = C_1 \cdot P_1 / \sqrt{T \cdot ((P_2 / P_1)^m - (P_2 / P_1)^n)^{1/2}}$  (但し $C_1$ は比例定数、 $m$ 及び $n$ は定数)により演算する流量演算回路と、予め実測により求めたオリフィス下流側圧力 $P_2$ の変動と前記流体流量 $Q$ の流量誤差Errorとの関係を記憶した補正データ記憶回路と、前記演算した流体流量 $Q$ を補正データ記憶回路からの補正用データにより補正する流量補正演算回路とを設け、オリフィス下流側圧力 $P_2$ の変動に応じて演算した流体流量 $Q$ を補正し、補正後の流量値 $Q'$ を出力する構成としたことを特徴とする差圧式流量計。
- [3] 制御演算回路にオリフィス上流側の流体圧力 $P_1$ とオリフィス下流側の流体圧力 $P_2$ の比を演算する圧力比演算回路と、前記演算した圧力比と流体の臨界圧力比とを対比して流体の状態を判別する臨界条件判定回路と、流体が臨界条件下にあるときには流体流量 $Q$ を $Q = K P_1$  (但し $K$ は比例定数)により演算する第2流量演算回路とを設け、流体が臨界条件下にあるときは前記第2流体演算回路により演算した流体流量 $Q$ を、また流体が非臨界条件下にあるときには流量補正演算回路から補正した流量値 $Q'$ を、夫々出力する構成とした請求項2に記載の差圧式流量計。
- [4] 最大流量の100～10%までの流量域を測定する差圧式流量計と最大流量の10%～1%までの流量域を測定する差圧流量計とを組み合わせ、測定すべき流体を前記各流量域に応じて切換弁により前記各差圧流量計へ切換え供給することにより、広流量域によって亘って高精度な流量測定を行うことを特徴とする差圧式流量計。

- [5] 各差圧式流量計を、オリフィスと、オリフィス上流側の流体圧力 $P_1$ の検出器と、オリフィス下流側の流体圧力 $P_2$ の検出器と、オリフィス上流側の流体温度 $T$ の検出器と、前記各検出器からの検出圧力 $P_1$ 、 $P_2$ 及び検出温度 $T$ を用いて流体流量 $Q$ を演算する制御演算回路とから成る差圧式流量計とし、且つ前記流体流量 $Q$ を $Q = C_1 \cdot P_1 / \sqrt{T \cdot ((P_2/P_1)^m - (P_2/P_1)^n)^{1/2}}$  (但し $C_1$ は比例定数、 $m$ 及び $n$ は定数)により演算するようにした請求項4に記載の差圧式流量計。
- [6] 各差圧式流量計を、オリフィスと、オリフィス上流側の流体圧力 $P_1$ の検出器と、オリフィス下流側の流体圧力 $P_2$ の検出器と、オリフィス上流側の流体温度 $T$ の検出器と、前記各検出器からの検出圧力 $P_1$ 、 $P_2$ 及び検出温度 $T$ を用いて流体流量 $Q$ を演算する制御演算回路とから成る差圧式流量計であって、且つ前記制御演算回路に、流体流量 $Q$ を $Q = C_1 \cdot P_1 / \sqrt{T \cdot ((P_2/P_1)^m - (P_2/P_1)^n)^{1/2}}$  (但し $C_1$ は比例定数、 $m$ 及び $n$ は定数)により演算する流量演算回路と、予め実測により求めたオリフィス下流側圧力 $P_2$ の変動と前記流体流量 $Q$ の流量誤差Errorとの関係を記憶した補正データ記憶回路と、前記演算した流体流量 $Q$ を補正データ記憶回路からの補正用データにより補正する流量補正演算回路とを設け、オリフィス下流側圧力 $P_2$ の変動に応じて演算した流体流量 $Q$ を補正し、補正後の流量値 $Q'$ を出力する構成のものとした請求項4に記載の差圧式流量計。
- [7] 流体入口aと流体出口bと第1切換弁10の取付孔17aと第2切換弁11の取付孔17bとオリフィス上流側の流体圧力検出器2の取付孔18aとオリフィス下流側の流体圧力検出器3の取付孔18bとオリフィス上流側の流体温度検出器4の取付孔を夫々設けたバルブボディ12と、前記バルブボディ12の内部に穿設した流体入口aと第1切換弁10の取付孔17aの底面とオリフィス上流側の流体圧力検出器2の取付孔18aと第2切換弁11の取付孔17bの底面とを直通する流体通路16a、16b、16eと、第1切換弁取付孔17aの底面と第2切換弁11の取付孔17bの底面とを連通する流体通路16fと、第2切換弁11の取付孔17bの底面とオリフィス下流側の流体圧力検出器3の取付孔18bの底面とを連通する流体通路16cと、オリフィス下流側の流体圧力検出器3の取付孔18bの底面と流体出口bとを連通する流体通路16dと、前記各取付孔18a、18bへ固着したオリフィス上流側の流体圧力検出器2及びオリフィス下流側の流

体圧力検出器3と、オリフィス上流側の流体温度検出器4と、前記流体通路16eと流体通路16f間を開閉する第1切換弁10と、前記流体通路16bと流体通路16c間を開閉する第2切換弁11と、前記流体通路16fの途中に介設した小流量用のオリフィス1'と、前記流体通路16a又は流体通路16bに介設した大流量用のオリフィス1''と、前記両圧力検出器2, 3の検出圧力 $P_1 \cdot P_2$ 及び温度検出器4の検出温度 $T$ により小流量用オリフィス1'及び大流量用オリフィス1''を流通する流体流量 $Q$ を $Q = C_1 \cdot P_1 / \sqrt{T} \cdot ((P_2 / P_1)^m - (P_2 / P_1)^n)^{1/2}$ により演算する制御演算回路とから構成され、測定すべき流量の大流量域を前記第1切換弁10を閉に第2切換弁11を開にして、また小流量域を前記第1切換弁10を開に第2切換弁11を閉にして夫々測定することを特徴とする差圧式流量計。

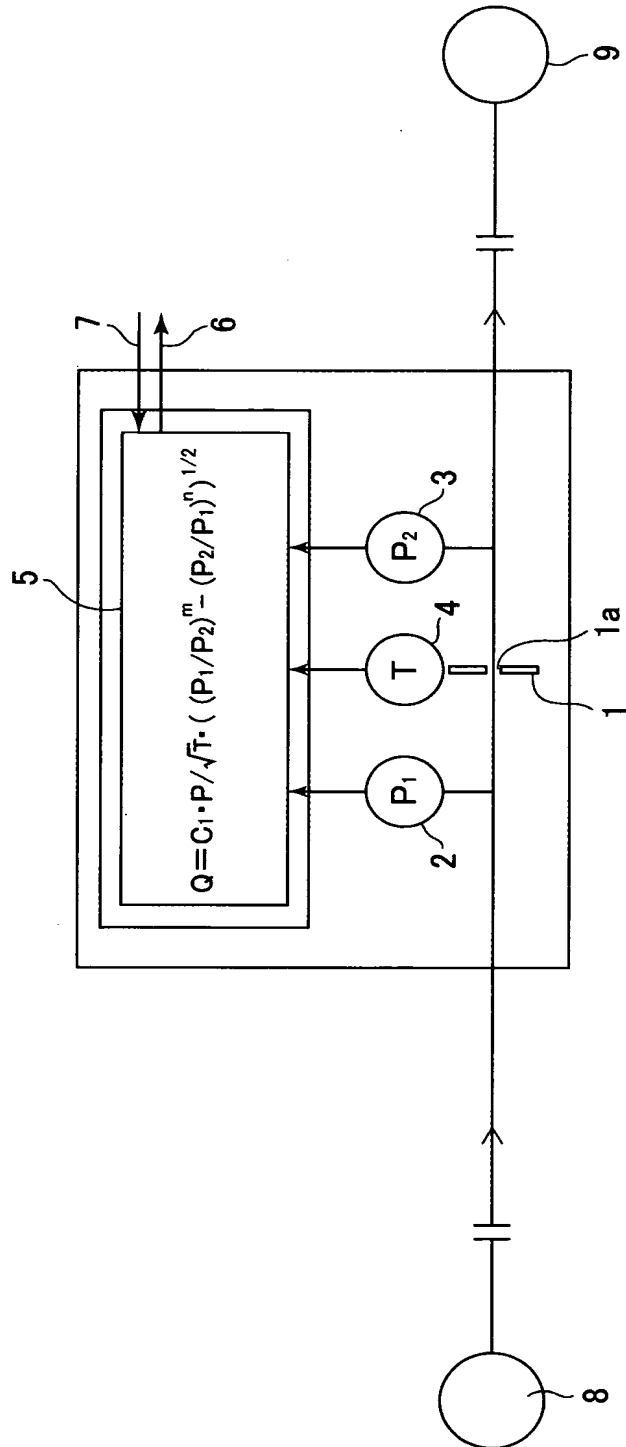
- [8] 第1切換弁10と第2切換弁11の何れか一方をノーマルクローズ型の弁に、他方をノーマルオープン型の弁にすると共に、両切換弁10、11の駆動用シリンダ10a、11aへ1台の制御用電磁弁Mvから作動用流体を供給する構成とした請求項4又は請求項7に記載の差圧式流量計。
- [9] 最大流量の100～10%までの流量域を、第1切換弁10を閉に第2切換弁11を開にして測定し、また最大流量の10%～1%までの流量域を第1切換弁10を開に及び第2切換弁11を閉にして測定するようにした請求項7に記載の差圧式流量計。
- [10] オリフィス上流側の圧力検出器2とオリフィス下流側の圧力検出器3とオリフィス上流側の温度検出器4とを、両差圧流量計で共用するようにした請求項7又は請求項8に記載の差圧式流量計。
- [11] バルブ駆動部を備えたコントロールバルブ部と、その下流側に設けたオリフィスと、オリフィス上流側の圧力 $P_1$ の検出器と、オリフィス下流側の流体圧力 $P_2$ の検出器と、オリフィス上流側の流体温度 $T$ の検出器と、前記各検出器からの検出圧力 $P_1$ 、 $P_2$ 及び検出温度 $T$ を用いてオリフィスを流通する流体流量 $Q$ を演算すると共に、演算流量 $Q$ と設定流量 $Q_s$ との差を演算する流量比較回路を備えた制御演算回路とからなる差圧式流量制御装置に於いて、前記流体流量 $Q$ を $Q = C_1 \cdot P_1 / \sqrt{T} \cdot ((P_2 / P_1)^m - (P_2 / P_1)^n)^{1/2}$  (但し $C_1$ は比例定数、 $m$ 及び $n$ は定数)により演算することを特徴とする差圧式流量制御装置。

- [12] バルブ駆動部を備えたコントロールバルブ部と、その下流側に設けたオリフィスと、オリフィス上流側の流体圧力 $P_1$ の検出器と、オリフィス下流側の流体圧力 $P_2$ の検出器と、オリフィス上流側の流体温度 $T$ の検出器と、前記各検出器からの検出圧力 $P_1$ 、 $P_2$ 及び検出温度 $T$ を用いて流体流量 $Q$ を演算すると共に、演算流量 $Q$ と設定流量 $Q_s$ との差を演算する流量比較回路を備えた制御演算回路とから成る差圧式流量制御装置に於いて、前記制御演算回路に、流体流量 $Q$ を $Q = C_1 \cdot P_1 / \sqrt{T \cdot ((P_2 / P_1)^m - (P_2 / P_1)^n)}^{1/2}$  (但し $C_1$ は比例定数、 $m$ 及び $n$ は定数)により演算する流量演算回路と、予め実測により求めたオリフィス下流側圧力 $P_2$ の変動と前記流体流量 $Q$ の流量誤差Errorとの関係を記憶した補正データ記憶回路と、前記演算した流体流量 $Q$ を補正データ記憶回路からの補正用データにより補正する流量補正演算回路とを設け、オリフィス下流側圧力 $P_2$ の変動に応じて演算した流体流量 $Q$ を補正し、補正後の流量値 $Q'$ を前記流量比較回路へ入力して流量差 $S = Q' - Q_s$ を演算する構成としたことを特徴とする差圧式流量制御装置。
- [13] 制御演算回路にオリフィス上流側の流体圧力 $P_1$ とオリフィス下流側の流体圧力 $P_2$ の比を演算する圧力比演算回路と、前記演算した圧力比と流体の臨界圧力比とを対比して流体の状態を判別する臨界条件判定回路と、流体が臨界条件下にあるときには流体流量 $Q$ を $Q = K P_1$  (但し $K$ は比例定数)により演算する第2流量演算回路とを設け、流体が臨界条件下にあるときは前記第2流体演算回路により演算した流体流量 $Q$ を、また流体が非臨界条件下にあるときには流量補正演算回路から補正した流量値 $Q'$ を、夫々前記流量比較回路へ入力する構成とした請求項2に記載の差圧式流量計。

## 要 約 書

差圧式流量計の構造を簡素化して製造コストの引下げを図ると共に、100%～1%の広い流量範囲に亘って誤差Eが(1%SP)以下の高精度な流量計測をリアルタイムに且つインライン状態で行えるようにする。

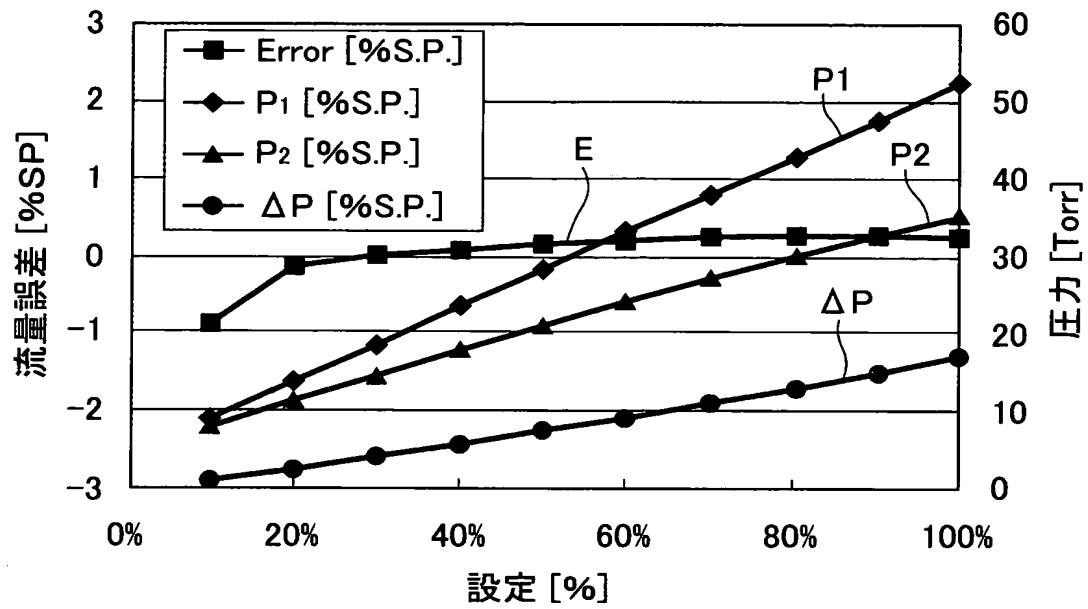
そのため、オリフィスと、オリフィス上流側の圧力 $P_1$ の検出器と、オリフィス下流側の流体圧力 $P_2$ の検出器と、オリフィス上流側の流体温度 $T$ の検出器と、前記各検出器からの検出圧力 $P_1$ 、 $P_2$ 及び検出温度 $T$ を用いてオリフィスを流通する流体流量 $Q$ を演算する制御演算回路とからなる差圧式流量計に於いて、前記流体流量 $Q$ を $Q = C_1 \cdot P_1 / \sqrt{T \cdot ((P_2 / P_1)^m - (P_2 / P_1)^n)}^{1/2}$  (但し $C_1$ は比例定数、 $m$ 及び $n$ は定数)により演算する。



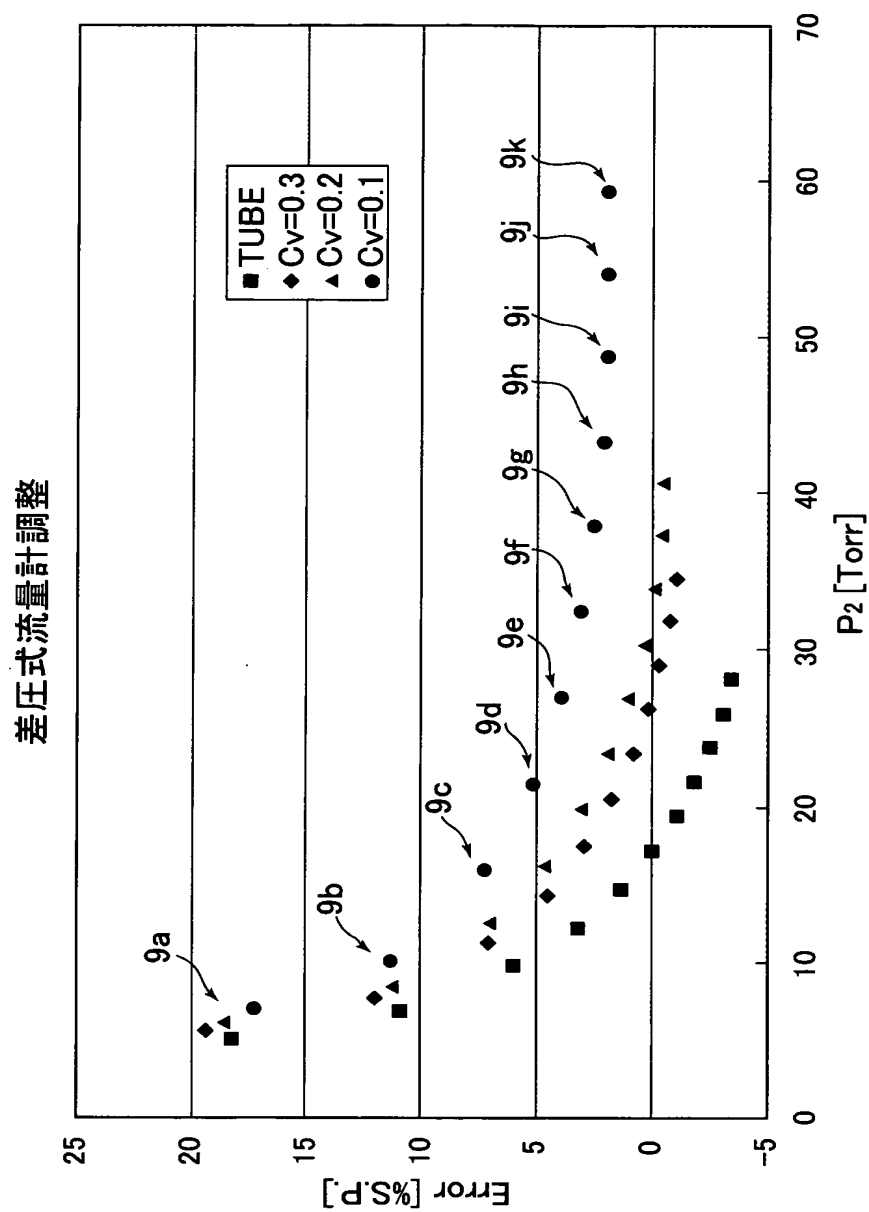
[図1]

[図2]

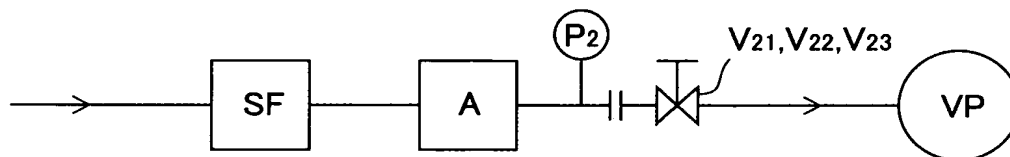
## 差圧式流量計 (2SLM用①)



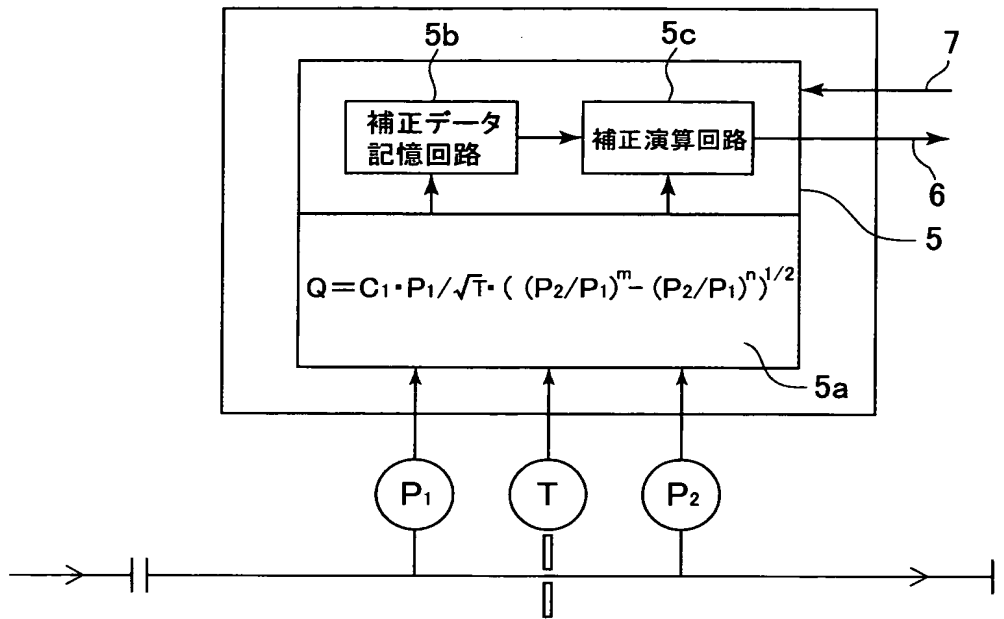
[図3]



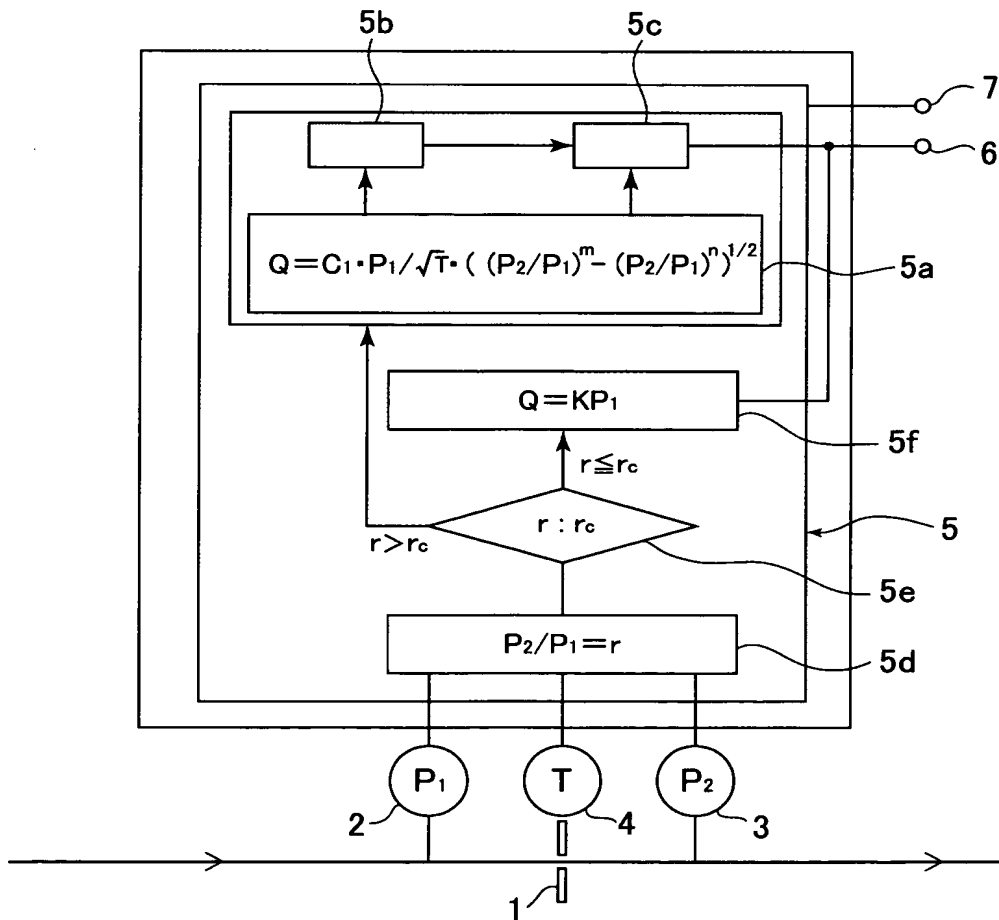
[図4]

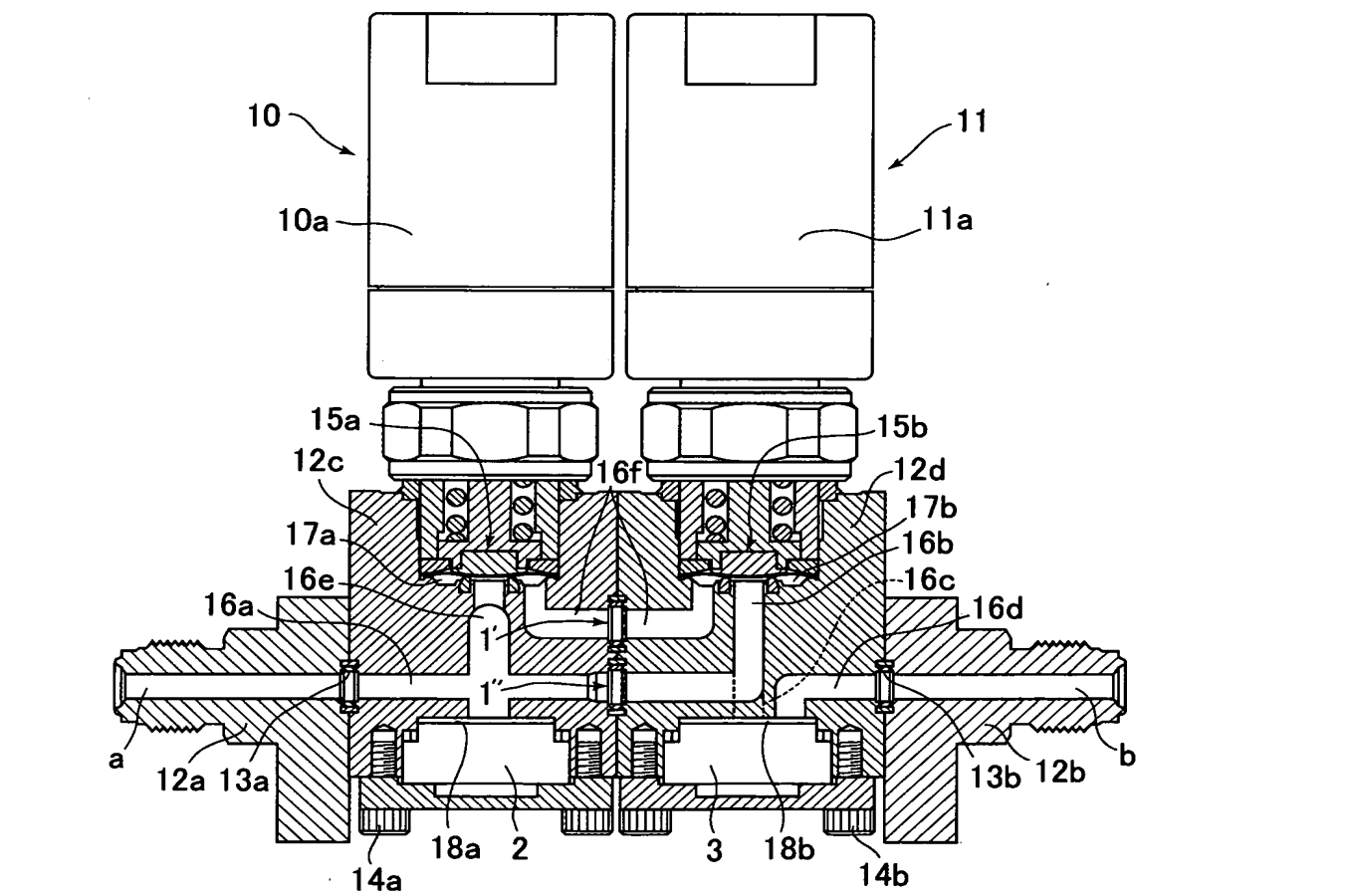
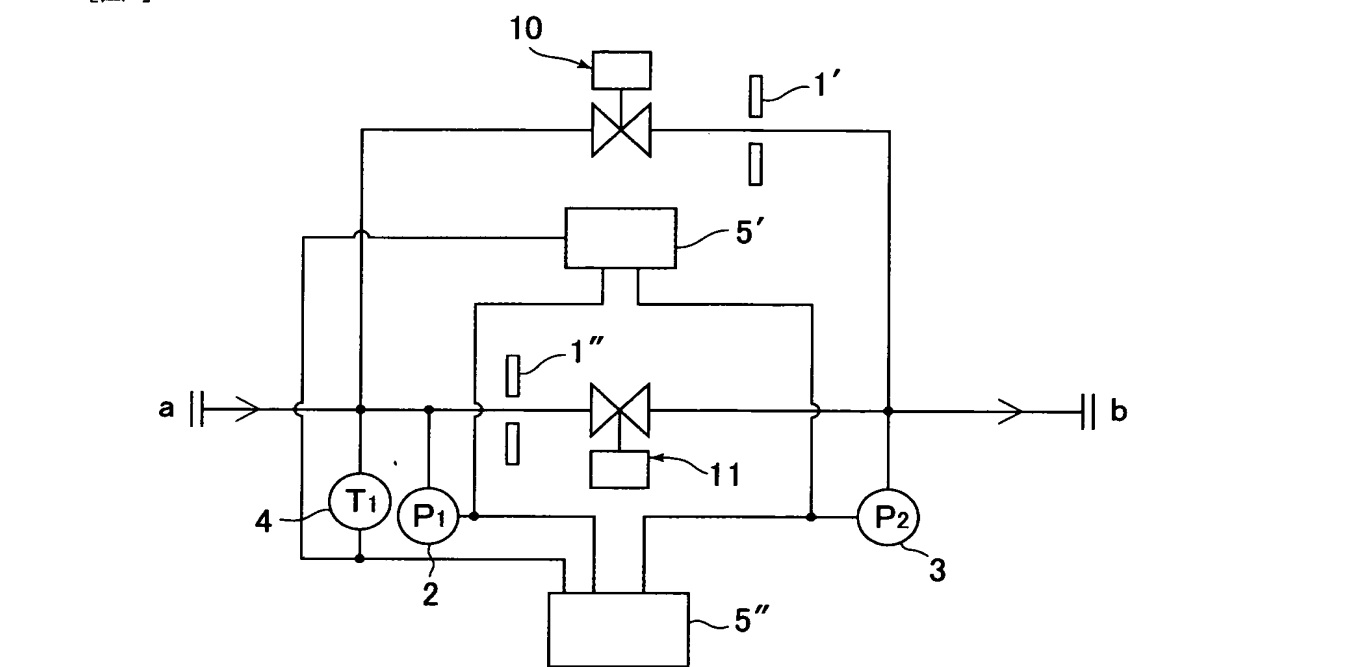


[図5]

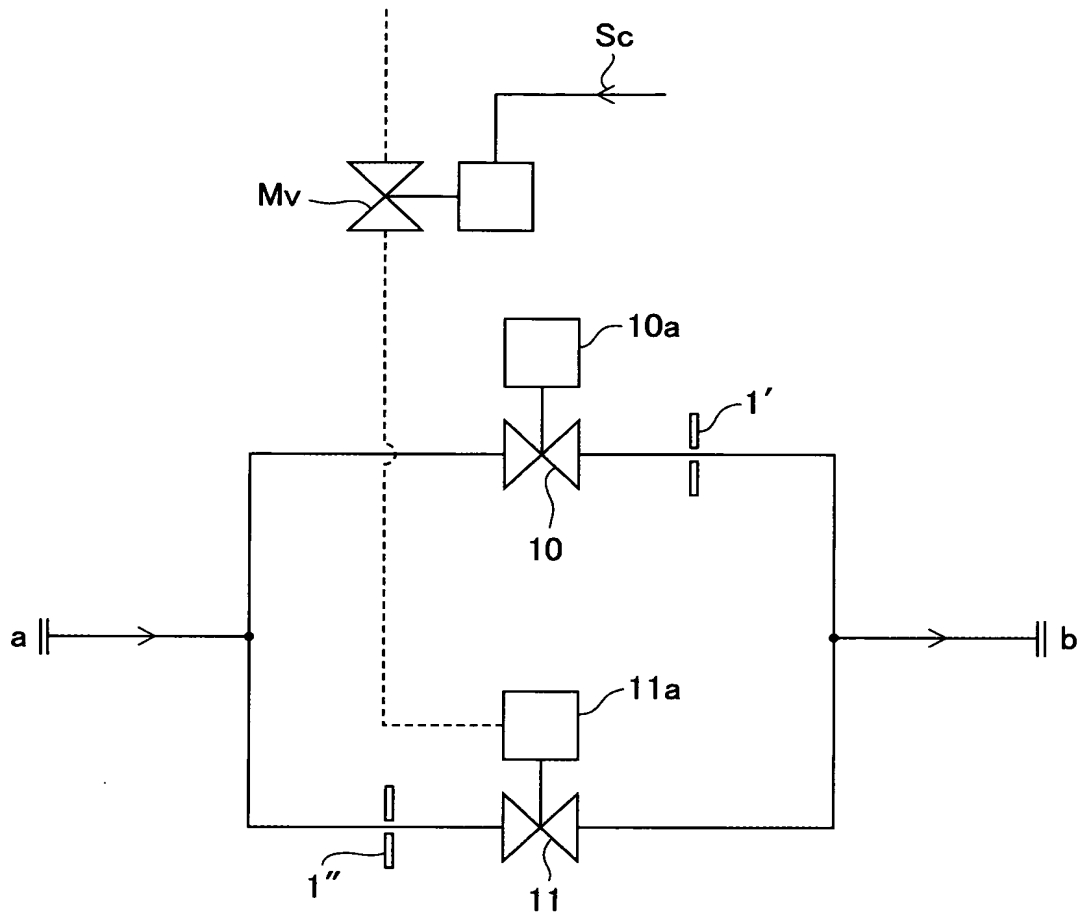


[図6]

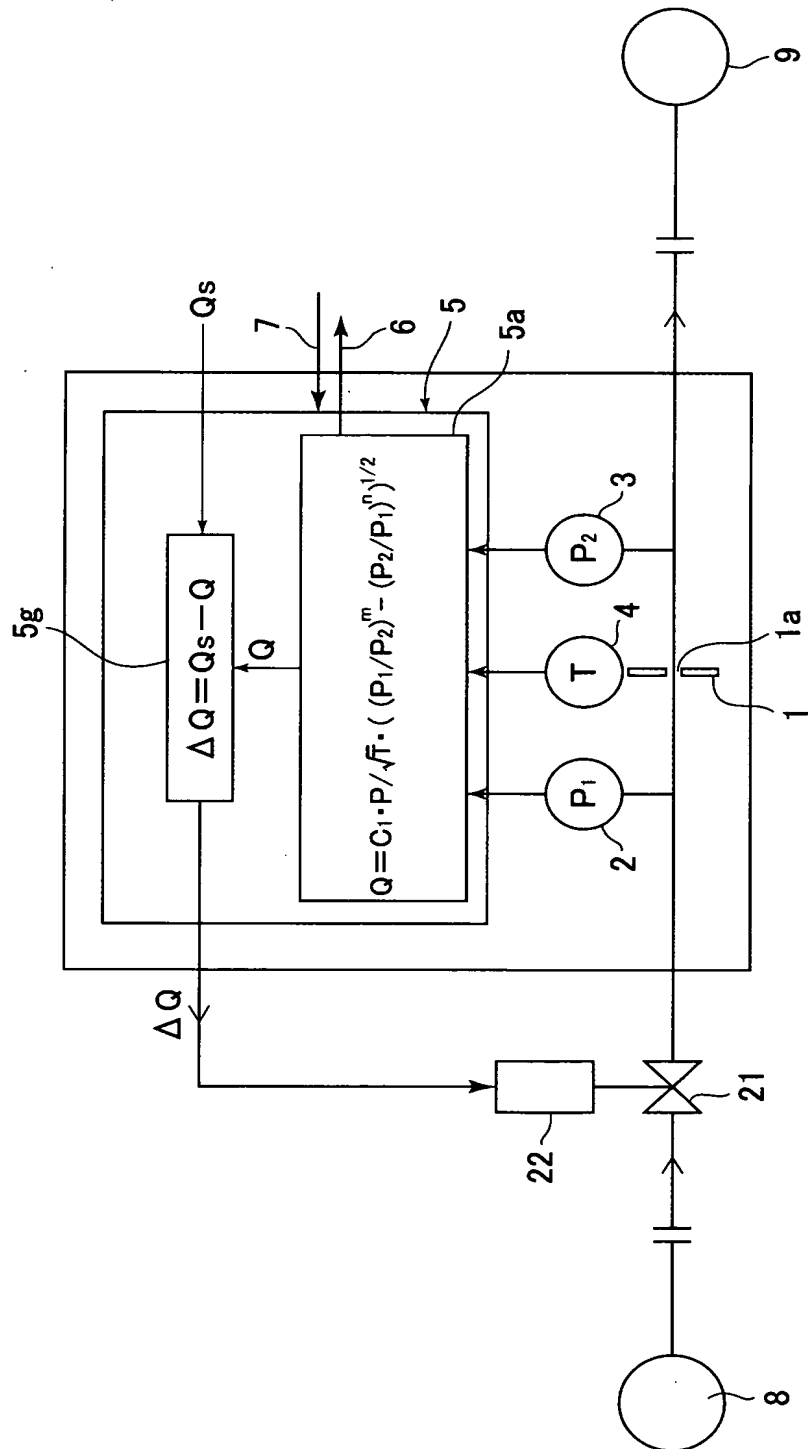




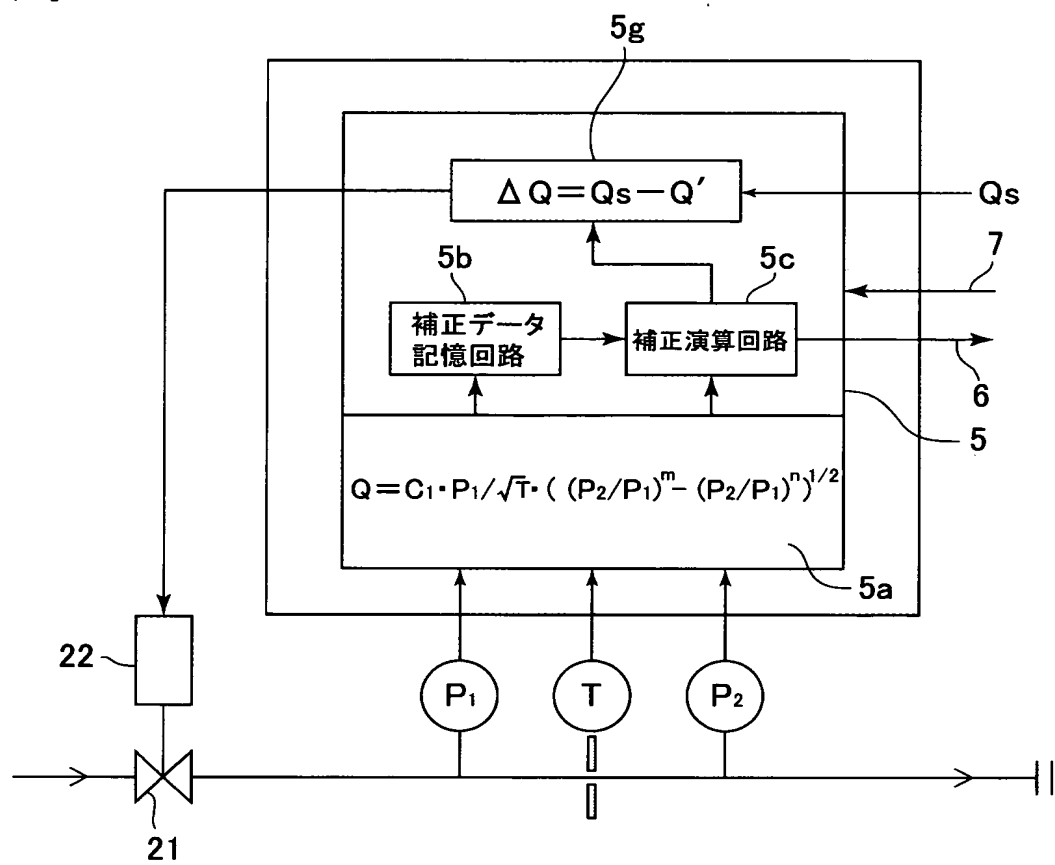
[図9]



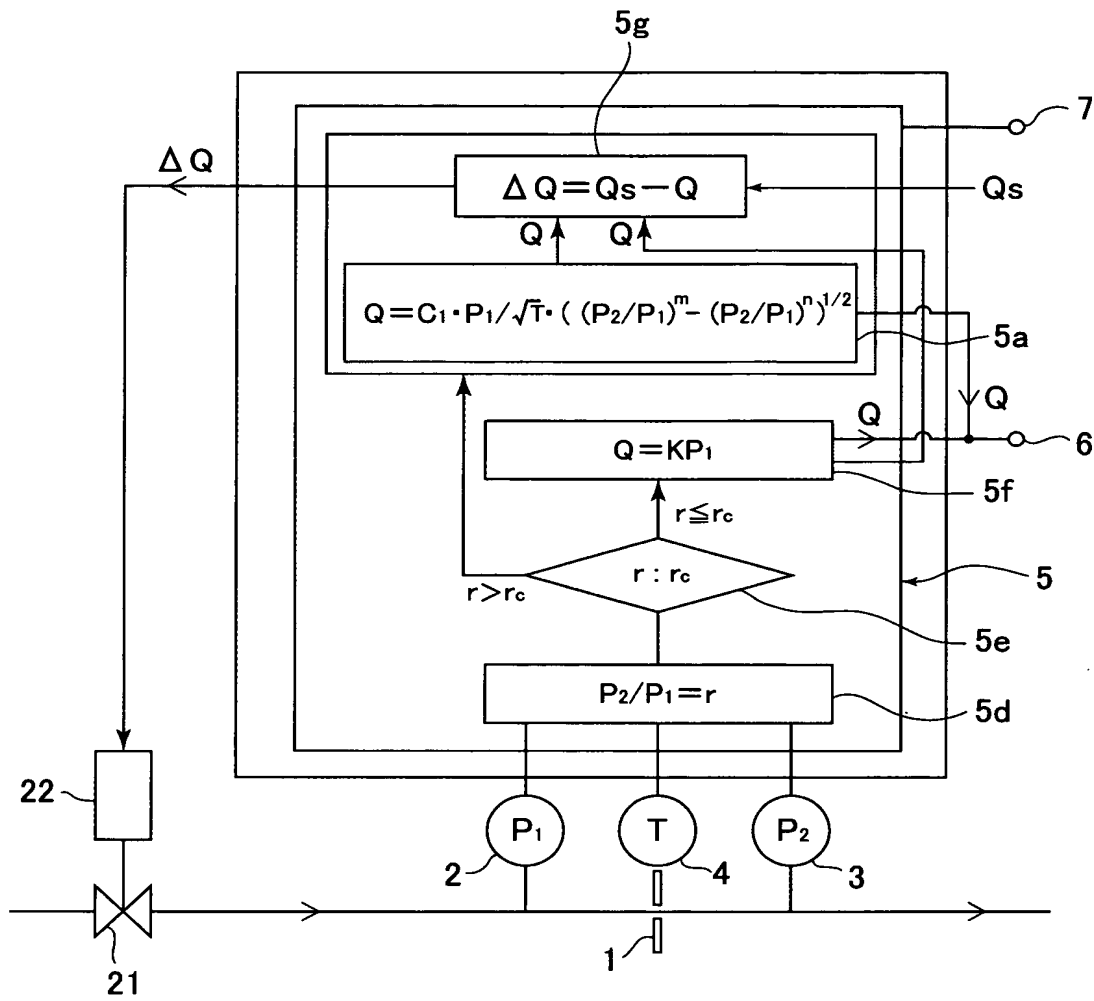
[図10]



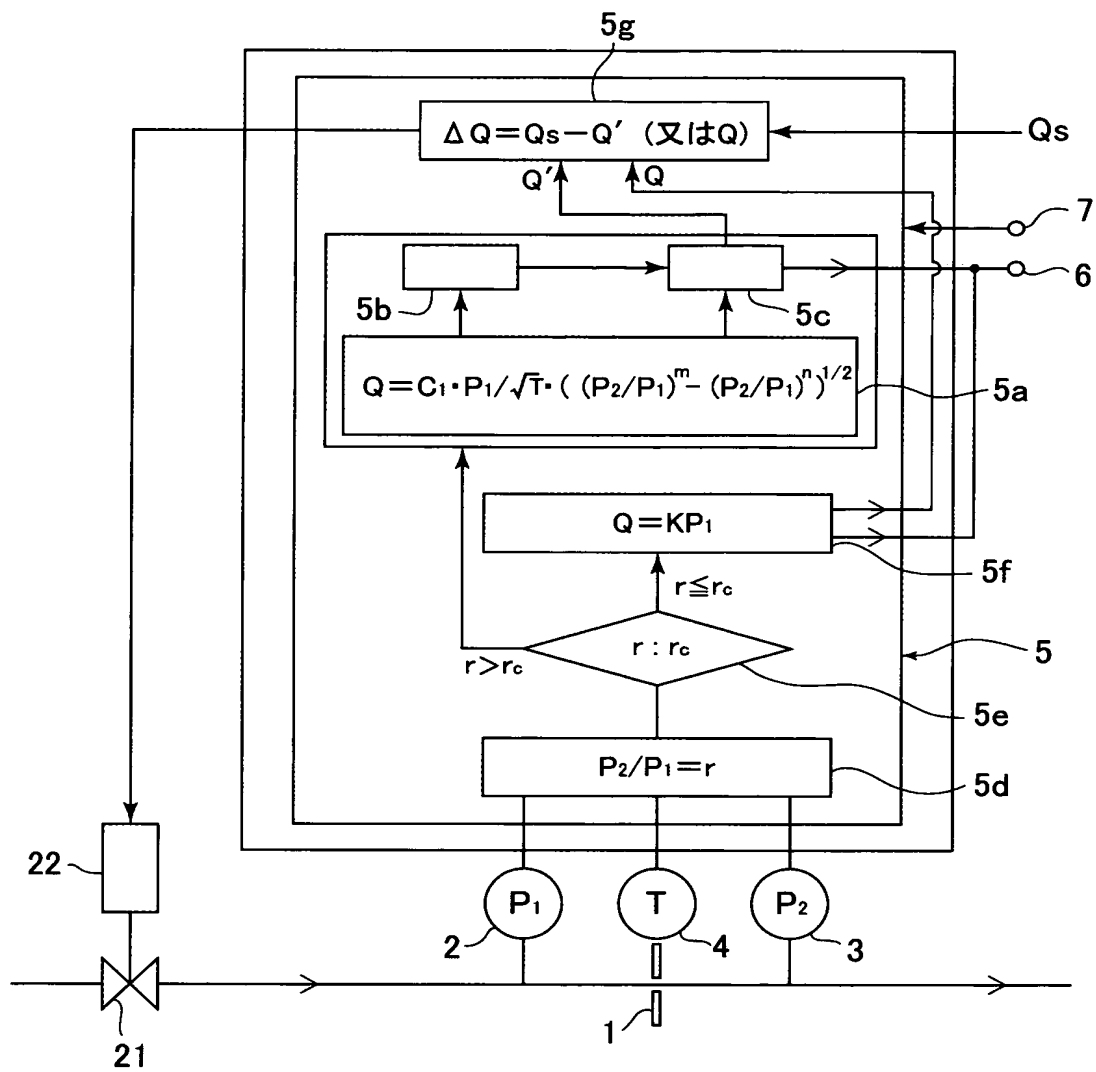
[図11]



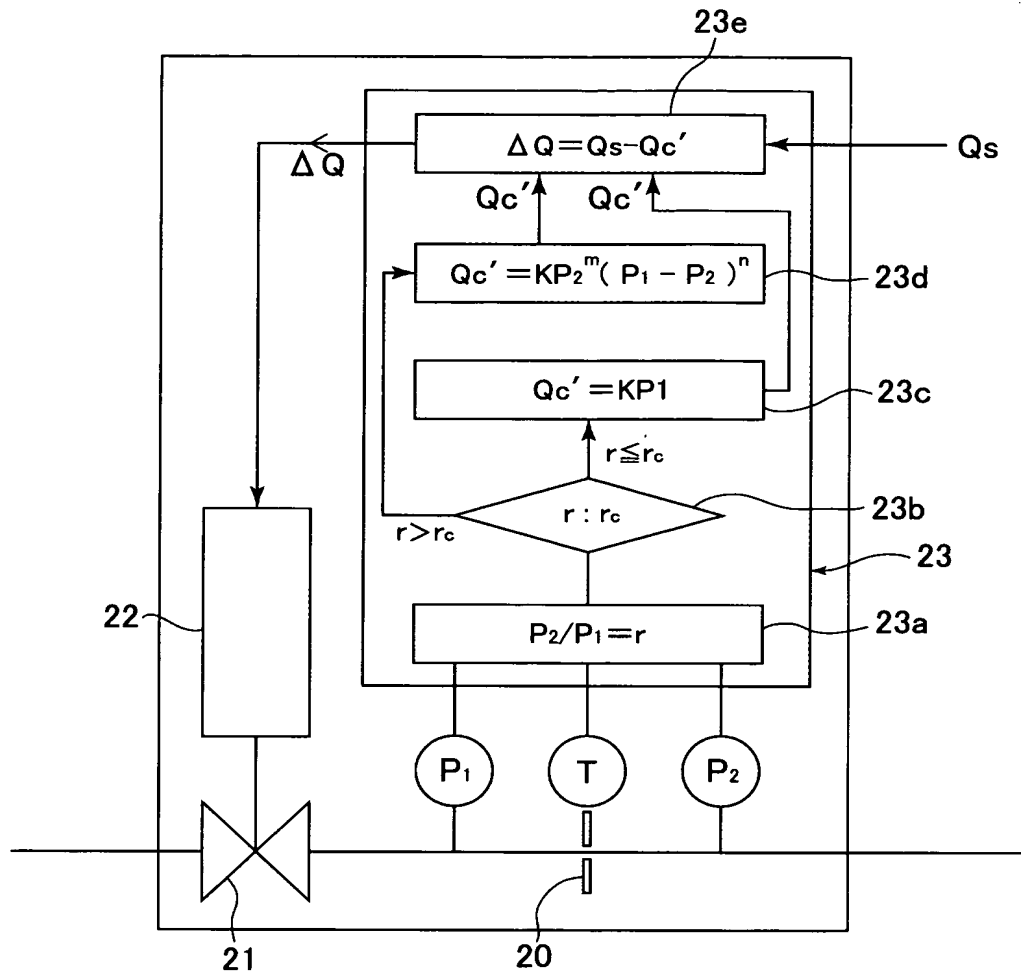
[図12]



[図13]



[図14]



[図15]

